

## Аутекологічні особливості та характеристика еконіш діатомових водоростей (*Bacillariophyta* Karsten) пониззя р. Ворскла

Райда О.В.

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,  
вул. Терещенківська, 2, Київ 01601, Україна  
olena\_raida2505@ukr.net

Надійшла до редакції 17.01.2022. Після доопрацювання 11.04. 2022. Підписана до друку 24.04.2022.  
Опублікована 22.06.2022

**Реферат.** Проаналізовано видове різноманіття діатомових водоростей пониззя р. Ворскли, що належить до території регіонального ландшафтного парку «Нижньоворсклянський». Основою аналізу слугували альгологічні проби, зібрані в пониззі річки у весняно-осінній період. Обстежені ділянка нижньої течії р. Ворскла протяжністю близько 7 км, Ворсклянська затока та частина Кам'янського водосховища, заплавні водойми, болота та заболочені ділянки. Зразки відбирали з різних екологічних угруповань та опрацьовували в живому та фіксованому стані з використанням методу прямого мікроскопіювання. Всього ідентифіковано 288 таксонів. Проведено аутекологічний аналіз 133 представників діатомових водоростей за відношенням до основних екологічних факторів (температура, кислотність, галобність). Отримані дані опрацьовували загальноприйнятими методами статистичних досліджень. На основі шкал Елленберга методами фітоіндикації охарактеризовано екологічну нішу та з'ясовано характер взаємодії між основними екофакторами вказаних представників *Bacillariophyta*. На основі аналізу значень розмаху варіації показників екофакторів встановлено діапазон зони оптимуму для досліджених видів. За градієнтами значень температури, галобності та кислотності середовища існування види розділено на 4 класи (стенотопні, гемістенотопні, геміевритопні та евритопні). Встановлено, що екологічна ніша досліджених таксонів характеризується зміщенням у бік нейтрального середовища ( $6,5 \leq \text{pH} 7,5$ ) прісноводних водойм з незначним рівнем мінералізації (0–2‰). За результатами ієрархічної кластеризації виявлена спорідненість досліджених видів-індикаторів за сукупною дією провідних екофакторів (температура, галобність, кислотність середовища) та виділено найбільш чутливу групу «стенотопів», перспективну для використання при проведенні альгоіндикаційного аналізу водних екосистем.

**Ключові слова:** *Bacillariophyta*, екофактори, види-індикатори, екологічні шкали, еконіша

© Райда О.В., 2022

## Вступ

Використання сучасних методів біоіндикаційного аналізу за допомогою видів-індикаторів ґрунтується на послідовній реакції угруповань водоростей на зміни навколишнього середовища. Характер взаємозв'язків між ними поки що недостатньо вивчений. Зважаючи на широке застосування видів-індикаторів для оцінки якості стану поверхневих вод, враховуючи наявність відомостей про межі їхньої толерантності стосовно основних екофакторів, перспективним є використання їх у системі комплексної оцінки водних екосистем методами фітоіндикації.

Наявність даних про реакцію виду на дію абіотичних факторів середовища дозволяє оцінити місце останнього в екосистемі або його екологічну нішу. В сучасному розумінні екологічні виділяють функціональну нішу та нішу місця. Функціональна ніша передбачає дослідження біології виду, його онтогенезу та структури популяцій. З точки зору індикаторних особливостей важливою є ніша місця, оскільки її визначальними параметрами є показники значень екофакторів (Climatogeni..., 2016).

Діатомові водорості – одна з домінуючих у світовій альгофлорі група, що трапляється в усіх біотопах, екологічних групах, вона добре представлена в різних типах водойм (Bérard et al., 2004), характеризується високою різноманітною та вивченістю серед видів-індикаторів (Bukhtiyarova, 1999; Barinova et al., 2006; Barinova, 2013). Це дає підстави для виділення та використання їх як основної складової в системі біомоніторингу різних типів водойм.

Вивчення видового різноманіття діатомових водоростей пониззя Ворскли проводили в 2002–2005 рр. (Rayda, 2012, 2013). Пізніше відомості щодо видового складу *Bacillariophyta* парку були доповнені (Kryvosheia-Zakharova, 2020).

Мета нашої роботи – проведення аутоекологічного аналізу видів-індикаторів представників *Bacillariophyta* пониззя р. Ворскли.

## Матеріали та методи

Матеріалом для досліджень були діатомові водорості пониззя р. Ворскла (лівої притоки Дніпра), що знаходиться в південно-східній частині Полтавської обл. на півдні Кобеляцького р-ну, у фізико-географічному відношенні – на межі Лісостепу і Степу України. Більша частина природного регіону охороняється з 2002 р. у межах регіонального ландшафтного парку «Нижньоворсклянський» на площі 23200 га, з них більше 30% займає Кам'янське водосховище (Rayda, 2005). Обстежені ділянка

нижньої течії р. Ворскла, Ворсклянська затока, частина Кам'янського вдсх, заплавні водойми (озера й стариці, що через численні рукави та притоки формують безперервну заплаву систему), болота та заболочені ділянки. Альгологічні проби збирали з різних екологічних угруповань (планктон, перифітон, бентос) із застосуванням фільтраційного та відстійного методів відбору проб, проби субстрату обростань та вижимок – з вищої водної рослинності (Algae..., 1989).

Видовий склад водоростей вивчали в живому та фіксованому стані з використанням методів світлової та електронної мікроскопії. Систематичний список видів складений згідно до системи, прийнятої в *Algae of Ukraine...* (2009), назви таксонів наведені у сучасній номенклатурній інтерпретації (<http://algaebase.org/2022>). Еколого-біологічні характеристики для видів-індикаторів наведені згідно з літературними даними (Gorbulin, 2016; Barinova et al., 2019). Екологічну характеристику еконіш визначали на основі розрахунку фітоіндикаційних показників провідних екологічних факторів на основі методики Я.П. Дідуха (Didukh, 1990, 2012; Didukh, Plyuta, 1994). Для встановлення екологічної групи та екологічної валентності (меж витривалості) видів розраховані середні значення (Budzhak et al., 2019) для кожного з показників та їхньої амплітуди. Отримані цифрові дані опрацьовували загальноприйнятими методами статистичних досліджень (Lakin, 1990; Zaytsev, 1990) з використанням програм Excel (Lapach et al., 2001; Kornell, 2007) та STATISTICA 10.0 (Makarova, 2012).

### Результати та обговорення

У результаті критико-таксономічної обробки оригінальних і літературних даних нами встановлено, що для різнотипних водойм пониззя р. Ворскли відомо 279 видів (288 ввт) діатомових водоростей, що належать до 4 класів, 13 порядків, 28 родини та 65 родів. Найбільшим видовим різноманіттям характеризуються роди *Nitzschia* Hassall (29), *Navicula* Bory (25), *Gomphonema* Ehrenberg (20), *Pinnularia* Ehrenberg (19), *Cymbella* C.A.Agardh (14) та *Epithemia* Kützing (10 видів) (рис. 1).

Серед виявленого видового різноманіття числові значення екологічних характеристик за такими показниками, як температурний режим, відношення до рівня рН та галобність, наведено для 133 таксонів, що складає 17,6% видового різноманіття видів-індикаторів *Bacillariophyta*, відомих для континентальних водойм України (Barinova et al., 2019).

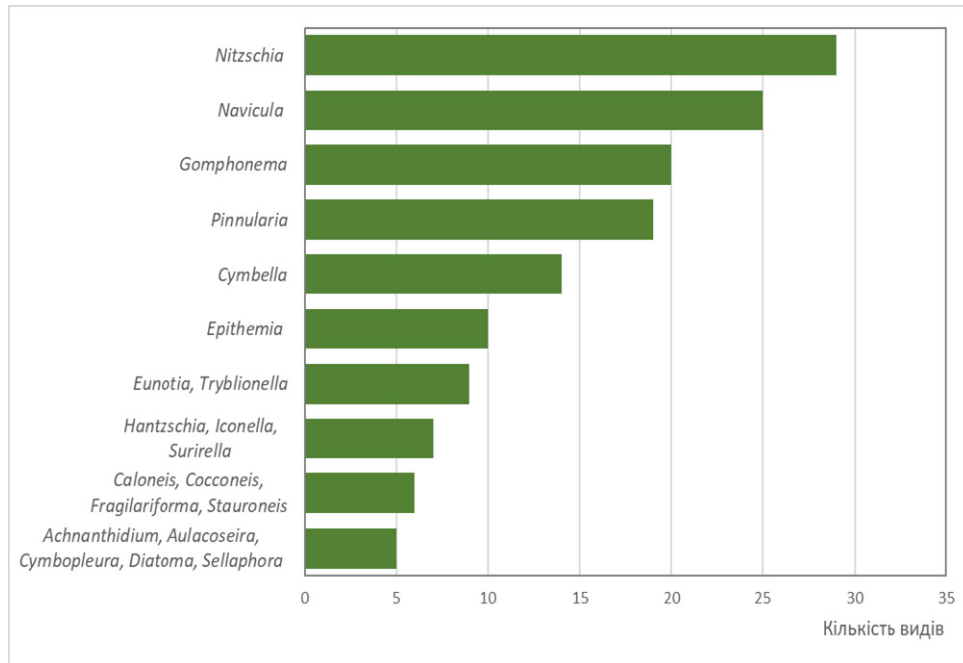


Рис. 1. Кількісний розподіл видового складу *Bacillariophyta* пониззя р. Ворскла у провідних родах

За відношенням до температурного режиму серед відзначених індикаторних видів переважають ті, що розвиваються в широкому діапазоні температур (eterm) – 83 види та внутрішньовидових таксони (ввт), або 62,4% показових форм. Види помірного температурного режиму, або індиференти (temp), нараховують 36 таксонів. Тепло- (warm) та холодолюбиві види представлені 11 та 3 таксонами відповідно. Групи видів-індикаторів солоності за Ф. Хустедтом (Hustedt, 1957) представлені переважно індиферентами – 76 таксонів. Індикаторними відносно рН середовища є 93 види та ввт, серед яких переважають групи алкаліфілів (alf) – 50 та індиферентів – 27 видів.

Розподіл індикаторних видів за відношенням до показників екофакторів є основою для оцінки умов їхнього існування, або еконіші. Для графічного представлення еконіші використовують багато-параметральні циклограми, де на осях відображені фактори в певному масштабі. Такий спосіб зображення дозволяє оцінити еконішу не як механізм конкуренції, а як багатовимірний простір (Didukh, 2012a). Для характеристики еконіші індикаторних видів *Bacillariophyta* були використані екологічні шкали Елленберга (Van Dam et al., 1994), на основі яких види оцінено за сьома екофакторами: кислотність (R – 1–6 балів),

солоність (Н – 1–4 бали), поглинання азоту (N – 1–4 бали), потреба у кисні (О – 1–5 балів), сапробність (S – 1–5 балів), трофність (Т – 1–7 балів), вологість (М – 1–5 балів).

Для визначення особливостей структури еконіші важливо з'ясувати характер кореляційних зв'язків між екофакторами та виявити серед них ключові, які й визначатимуть специфіку еконіші та умови існування видів.

Для виявлення характеру взаємозв'язків між екофакторами, що визначають специфіку еконіш та умов існування видів, проведено кореляційний аналіз, у результаті якого встановлено наявність середнього зв'язку ( $r = 0,5-0,7$ ) між галобністю та потребою в кисні, галобністю та сапробністю, трофністю та поглинанням азоту, трофністю та потребою в кисні, трофністю та сапробністю. Сильний кореляційний зв'язок ( $r > 0,7$ ) виявлено між поглинанням азоту та потребою в кисні, поглинанням азоту та сапробністю, а також між потребою в кисні та сапробністю (рис. 2).

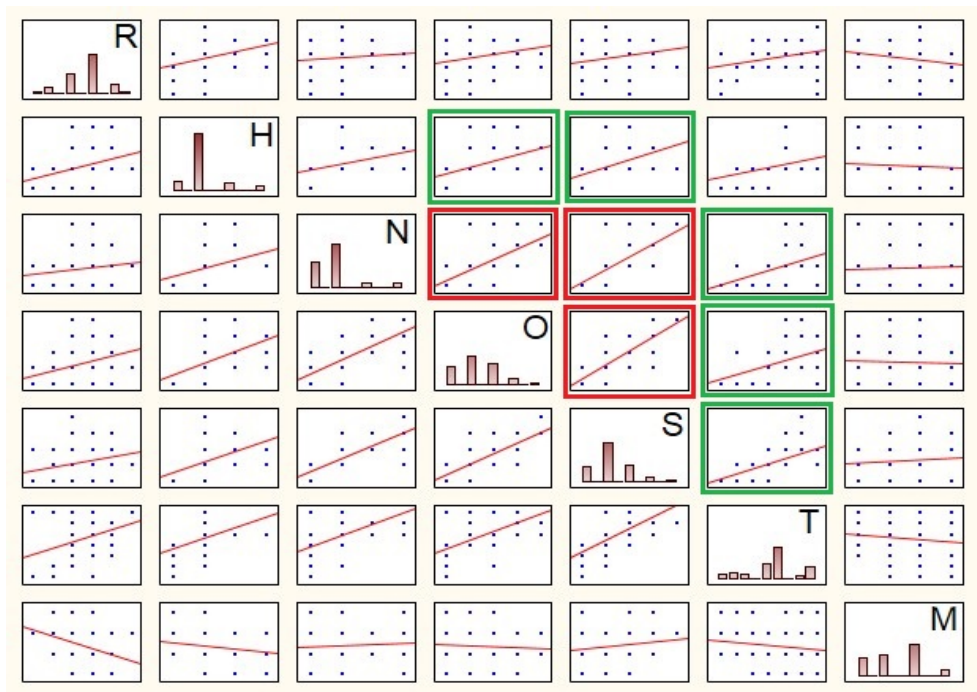


Рис. 2. Матриця діаграми розсіювання показників кореляції між екофакторами, що характеризують екологічну нішу представників *Bacillariophyta* пониззя р. Ворскла (на основі шкал Еленберга). R – кислотність, Н – солоність, N – поглинання азоту, О – потреба в кисні, S – сапробність, Т – трофність, М – вологість.  $0,5 \leq r \leq 0,7$ ;  $r > 0,7$

Таким чином, сапробність, потреба в кисні та рівень поглинання азоту є визначальними факторами у формуванні еконіші для представників *Bacillariophyta* території досліджень (рис. 3), що також підтверджено результатами кластерного аналізу (рис. 4), де вони формують окремий базовий блок.

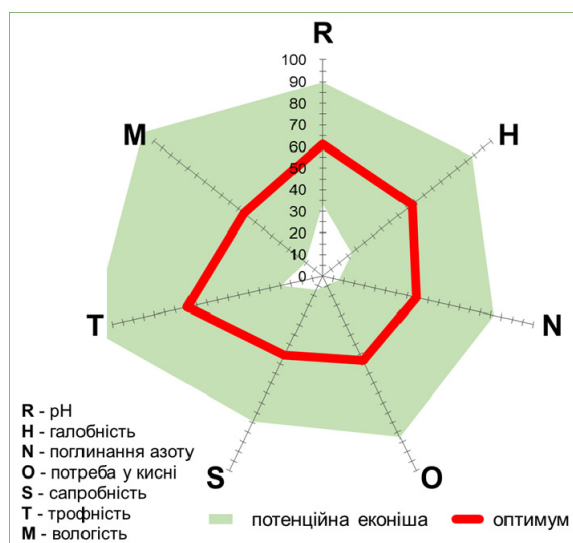


Рис. 3. Еконіша видів-індикаторів *Bacillariophyta* модельної ділянки пониззя р. Ворскла на основі нормованих значень шкал Еленберга

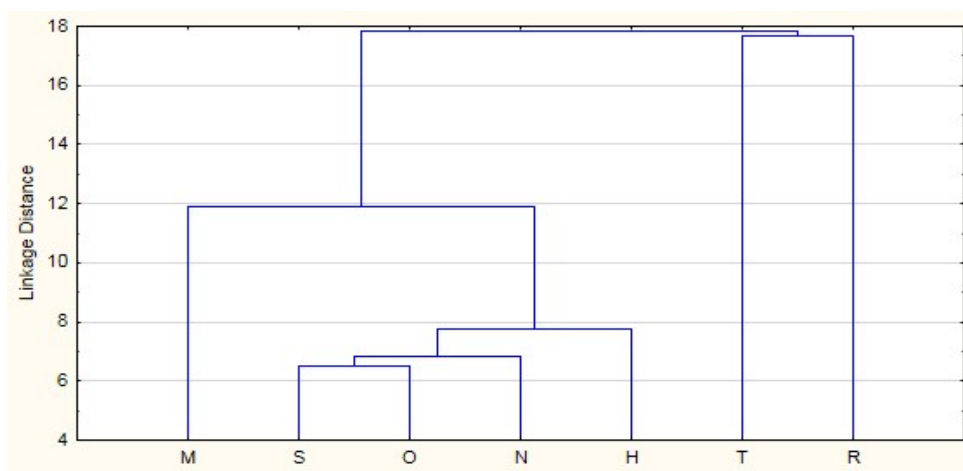


Рис. 4. Взаємозв'язок між екофакторами, що характеризують екологічну нішу, представників видів-індикаторів *Bacillariophyta* пониззя р. Ворскла (на основі шкал Еленберга)

Для діагностування умов середовища існування, прогнозів розвитку популяцій та угруповань необхідними є показники амплітуди (діапазону) толерантності (АТ) видів, що визначається розмахом значень фактора, в межах якого можливе їхнє існування (Есофлора..., 2000). Незважаючи на широке використання представників *Bacillariophyta* у біоіндикації, цифрові дані з аутекології для більшості видів, як правило, обмежуються значенням окремих показників. Тому для подальшого аналізу нами обрано показники температурного режиму, кислотності та галобності, оскільки вони переважно представлені у вигляді діапазону значень.

При характеристиці амплітуди толерантності види-індикатори *Bacillariophyta* було розділено на 4 класи за величиною градієнта значень температури, галобності та кислотності середовища існування. До стенотопних віднесено види з АТ < 25% усіх можливих значень фактора, до евритопних – з АТ > 75%, до гемістенотопних і геміевритопних відповідно, з АТ 25–50 і 50–75% відповідно.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що в різнотипних водоймах регіону досліджень переважають гемістенотопні (30,1%) та геміевритопні (38,3%) за відношенням до температури види (табл. 1). Домінуючою за відношенням до солоності середовища є група стенотопів, яка представлена 84,2% досліджених видів *Bacillariophyta*. За відношенням до кислотності середовища переважають види з широкою екологічною валентністю – геміевритопи (24,8%) та евритопи (28,6%).

Таблиця 1. Розподіл видів-індикаторів *Bacillariophyta* за величиною градієнту значень температури, галобності та рН середовища існування

Таксон	Температура				Галобність				рН			
	Стенотоп	Гемістенотоп	Геміевритоп	Евритоп	Стенотоп	Гемістенотоп	Геміевритоп	Евритоп	Стенотоп	Гемістенотоп	Геміевритоп	Евритоп
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützinger) Grunow		+			+				+			
<i>Achnanthidium exilis</i> (Kützinger) Bukht.		+								+		
<i>A. microcephalum</i> Kützinger		+			+					+		
<i>A. minutissimum</i> (Kützinger) Czarn.			+		+							+
<i>Amphora commutata</i> Grunow		+				+					+	
<i>A. ovalis</i> (Kützinger) Kützinger				+	+							+
<i>A. pediculus</i> (Kützinger) Grunow			+		+					+		
<i>Aneumastus tuscus</i> (Ehrenberg) D.G.Mann et A.J.Stickle			+		+					+		

<i>Asterionella formosa</i> Hassall				+			+					+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen var. <i>granulate</i>				+		+						+
<i>A. ambigua</i> (Grunow) Simonsen		+			+						+	
<i>A. granulata</i> var. <i>curvata</i> Grunow	+				+					+		
<i>A. italica</i> (Ehrenberg) Simonsen		+			+							+
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F.Müller) T.Marsson				+	+						+	
<i>Brachysira microcephala</i> (Grunow) Compère	+				+					+		
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve			+				+					+
<i>C. bacillum</i> (Grunow) Cleve		+					+				+	
<i>C. silicula</i> (Ehrenberg) Cleve. var. <i>silicul</i>			+		+							+
<i>C. ventricosa</i> var. <i>truncatula</i> (Grunow) Meister		+			+					+		
<i>Campylodiscus noricus</i> Ehrenberg		+			+						+	
<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg			+		+					+		
<i>C. pediculus</i> Ehrenberg				+	+							+
<i>C. placentula</i> Ehrenberg				+	+							+
<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G.Mann			+		+							+
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing			+		+							+
<i>Cylindrotheca gracilis</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow			+		+					+		
<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) Kirchn			+			+					+	
<i>C. cymbiformis</i> C.Agardh				+	+							+
<i>C. helvetica</i> Kützing			+		+					+		
<i>C. laevis</i> Nägeli in Kützing		+			+						+	
<i>C. lanceolata</i> C.Agardh			+		+							+
<i>C. parva</i> (W.Smith) Kirchner			+		+						+	
<i>C. tumida</i> (Brébisson in Kützing) Van Heurck			+		+						+	
<i>C. tumidula</i> Grunow		+			+					+		
<i>Diatoma moniliforme</i> Kützing		+			+					+		
<i>D. vulgaris</i> Bory				+	+						+	
<i>D. vulgaris</i> var. <i>brevis</i> Grunow	+				+					+		
<i>D. vulgaris</i> var. <i>linearis</i> Grunow		+			+					+		
<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve		+			+					+		
<i>D. ovalis</i> (Hilse) Cleve		+			+					+		
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson			+		+							+
<i>E. argus</i> (Ehrenberg) Kützing			+		+							+
<i>E. gibba</i> (Ehrenberg) Kützing		+			+							+
<i>E. goeppertiana</i> Hilse		+			+						+	
<i>E. sorex</i> Kützing			+		+							+



<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing			+		+							+
<i>E. turgida</i> (Ehrenberg) Kützing var. <i>granulata</i> (Ehrenberg) Brun	+				+						+	
<b><i>Eunotia arcus</i></b> Ehrenberg			+		+						+	
<i>E. bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt			+		+							+
<i>E. diodon</i> Ehrenberg	+				+						+	
<i>E. exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst		+			+							+
<i>E. monodon</i> Ehrenberg	+				+						+	
<i>E. parallela</i> Ehrenberg		+			+						+	
<i>E. praerupta</i> Ehrenberg			+		+						+	
<b><i>Fragilaria capucina</i></b> Desmazières				+			+					+
<i>F. crotonensis</i> Kitton			+			+						+
<i>F. constricta</i> (Ehrenberg) D.M.Williams et Round	+				+						+	
<b><i>Fragilariforma virescens</i></b> (Ralfs) D.M.Williams et Round var. <i>virescens</i>					+	+						+
<i>F. virescens</i> et Round var. <i>capitata</i> (Østrup) Czarnecki	+				+						+	
<i>F. virescens</i> var. <i>subsalina</i> (Grunow) Bukht.	+				+						+	
<b><i>Gyrosigma acuminatum</i></b> (Kützing) Rabenhorst			+					+				+
<i>G. attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst				+		+					+	
<b><i>Hantzschia amphioxys</i></b> (Ehrenberg) Grunow var. <i>amphioxys</i>				+		+						+
<i>H. amphioxys</i> f. <i>capitata</i> O.Müller			+		+							+
<i>H. amphioxys</i> var. <i>pusilla</i> f. <i>constricta</i> (Pant.) Cleve.	+				+				+			
<i>H. vivax</i> (W.Smith) Grunow		+			+					+		
<b><i>Iconella bifrons</i></b> (Ehrenberg) Ruck et Nakov	+				+				+			
<i>I. biseriata</i> (Brébisson) Ruck et Nakov		+			+					+		
<i>I. capronii</i> (Brébisson et Kitton) Ruck et Nakov		+			+					+		
<i>I. linearis</i> (C.Cocquyt et R.Jahn) C.Cocquyt et R.Jahn			+		+							+
<i>I. splendida</i> (Ehrenberg) Ruck et Nakov		+			+					+		
<i>I. tenera</i> (W.Gregory) Ruck et Nakov	+				+				+			
<b><i>Luticola mutica</i></b> (Kützing) D.G.Mann		+			+					+		
<i>L. nivalis</i> (Ehrenberg) D.G.Mann		+			+					+		
<i>L. ventricosa</i> (Kützing) D.G.Mann			+		+					+		
<b><i>Navicula capitatoradiata</i></b> H.Germain ex Gasse		+						+		+		
<i>N. cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs			+					+			+	
<i>N. lanceolata</i> Ehrenberg			+		+							+
<i>N. menisculus</i> Schuman				+	+						+	
<i>N. oblonga</i> (Kützing) Kützing		+			+					+		
<i>N. radiosa</i> Kützing				+			+					+
<i>N. rhynchocephala</i> Kützing			+		+							+

<i>Navicula salinarum</i> Grunow			+		+					+		
<i>N. tripunctata</i> (O.F.Müll.) Bory				+	+						+	
<i>N. veneta</i> Kützing				+	+							+
<i>N. viridula</i> (Kützing) Ehrenberg			+		+						+	
<i>Neidium iridis</i> (Ehrenberg) Cleve		+			+					+		
<i>N. productum</i> (W.Sm.) Cleve	+				+						+	
<b>Nitzschia</b> <i>acicularis</i> (Kützing) W.Sm.				+				+				+
<i>N. amphibia</i> Grunow			+		+					+		
<i>N. clauzii</i> Hantzsch	+				+				+			
<i>N. dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst			+		+					+		
<i>N. dubia</i> W.Sm.		+				+				+		
<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow		+			+							+
<i>N. gracilis</i> Hantzsch		+					+				+	
<i>N. intermedia</i> Hantzsch				+	+						+	
<i>N. hantzschiana</i> Rabenhorst	+						+			+		
<i>N. linearis</i> W.Smith			+		+							+
<i>N. tenuis</i> W.Smith	+				+					+		
<i>N. tryblionella</i> Hantzsch			+		+					+		
<i>N. umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot		+						+		+		
<i>N. vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch			+		+							+
<i>N. vitrea</i> G.Norman			+		+						+	
<b>Odontidium</b> <i>anceps</i> (Ehrenberg) Ralfs			+		+					+		
<i>O. hyemale</i> (Roth) Kützing				+	+					+		
<b>Pantocsekiella</b> <i>kuetzingiana</i> (Thwaites) K.T.Kiss et E.Ács			+				+				+	
<b>Pinnularia</b> <i>abaujensis</i> var. <i>linearis</i> (Hustedt) R.M.Patrick	+				+					+		
<i>P. appendiculata</i> (C.Agardh) Schaarschmidt		+			+					+		
<i>P. globiceps</i> W.Gregory	+				+					+		
<i>P. intermedia</i> (Lagerstedt) Cleve			+		+						+	
<i>P. interrupta</i> W.Smith			+		+							+
<i>P. major</i> (Kützing) Rabenhorst		+			+							+
<i>P. major</i> var. <i>linearis</i> Cleve	+				+				+			
<i>P. major</i> (Kützing) Rabenhorst var. <i>paludosa</i> Meister	+				+					+		
<i>P. microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve			+		+						+	
<i>P. nobilis</i> Ehrenberg		+			+						+	
<i>P. subcapitata</i> W.Gregory		+			+					+		
<i>P. viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg		+			+							+
<b>Planothidium</b> <i>ellipticum</i> (Cleve) M.B.Edlund		+			+					+		

<i>Planothidium lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot var. <i>lanceolata</i>			+		+							+
<i>Surirella angusta</i> Kützing			+		+							+
<i>S. ovalis</i> Brébisson			+				+					+
<i>S. robusta</i> Ehrenberg		+			+					+		
<i>S. striatula</i> Turpin	+				+					+		
<i>Tryblionella acuminata</i> W.Smith		+			+						+	
<i>T. acuta</i> (Cleve) D.G.Mann	+				+							+
<i>T. angustata</i> var. <i>acuta</i> (Grunow) Bukht.	+				+					+		
<i>T. angustata</i> W.Smith			+		+						+	
<i>T. apiculata</i> W.Gregory			+		+						+	
<i>T. hungarica</i> (Grunow) Frenguelli			+				+					+
<i>T. levidensis</i> W.Smith			+		+							+
<i>T. navicularis</i> (Brébisson) Ralfs			+		+						+	
<i>T. victoriae</i> Grunow	+				+						+	
Усього		24	40	51	18.	112.	6	10	5	10	52	33
Частка, %		18.0	30.1	38.3	13.5	84.2	4.5	7.5	3.8	7.5	39.1	24.8
												28.6

Аналіз основних індикаторних показників видів *Bacillariophyta* р. Ворскла на основі нормованих мінімальних, максимальних і середніх значень екологічних факторів (температура, галобність і кислотність) показав, що оптимальні умови (перекриття зон толерантності за трьома екофакторами) для них формуються при температурі середовища  $17,89 \pm 2,98$  °C. При цьому показники галобності та рН знаходяться в стресовій зоні (рис. 5).

Таким чином, екологічна ніша для досліджених видів-індикаторів при оптимальній температурі характеризується зміщенням у сторону нейтрального середовища з кислотністю ( $6,5 \leq \text{pH} \leq 7,5$ ) та солоністю від 0 до 2‰ (рис. 6).

Зважаючи на стенопність за відношенням до показників галобності та кислотності при оптимальних значеннях температури досліджені види-індикатори *Bacillariophyta* варто розглядати як ефективні маркери зміни стану водного середовища. Але при зміні основного екофактора (температури повітря) широта екологічної амплітуди видів-індикаторів щодо кислотності та галобності, вірогідно, буде змінюватися. Це потребує додаткових моніторингових досліджень для виявлення закономірностей зміни температурного режиму водного середовища, кислотності та

гало́бності при змінах температури атмосферного повітря, оскільки водні екосистеми характеризуються певною інертністю щодо зміни власного температурного режиму.

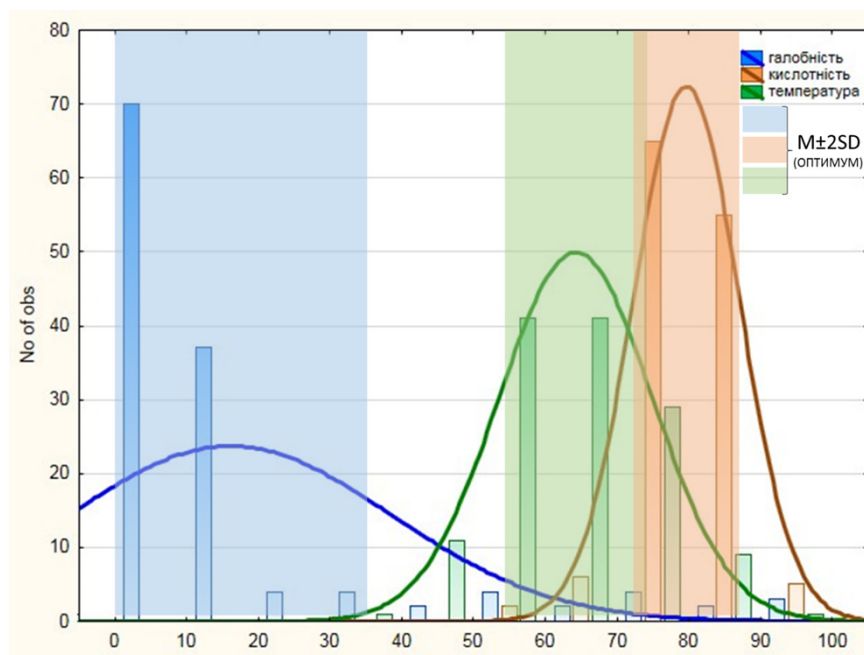


Рис. 5. Діапазони толерантності видів-індикаторів *Bacillariophyta* за відношенням до температури, гало́бності та рН середовища (розраховано на основі нормованих показників)

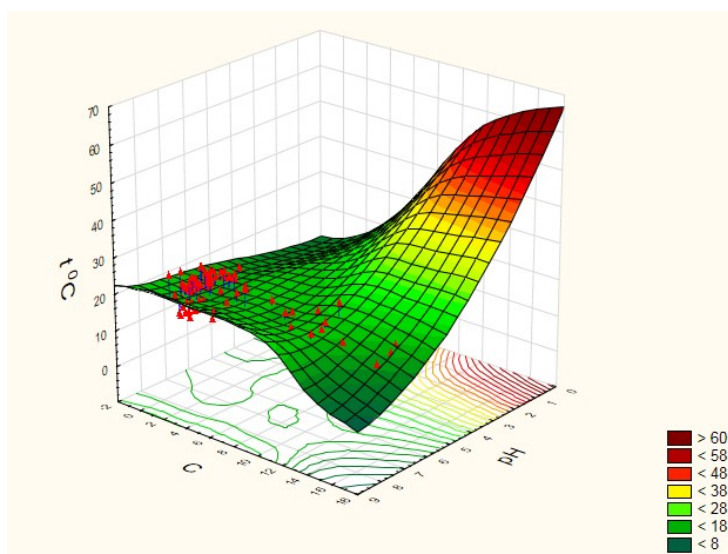


Рис. 6. Екологічна ніша для представників *Bacillariophyta* у градієнтах температури, гало́бності та рН; ▼ – види-індикатори

Відомо, що функціонування організму залежить від сукупного впливу екологічних факторів, що може проявлятися як у посиленні (синергізм), так і послабленні (антагонізм) дії окремих з них. На цій основі сформовано закон сукупної дії факторів. Явище синергії спричиняє переважання сукупної дії факторів над дією окремого з них, внаслідок чого розширюються адаптивні можливості організму. Тому важливо встановити діапазони толерантності індикаторних видів на фоні комплексної взаємодії температури, галобності та кислотності середовища їхнього існування.

З використанням методу ієрархічної кластеризації (Rokach, Maimon, 2005) нами побудовано дендрограму спорідненості досліджуваних індикаторних видів *Bacillariophyta* за комплексом факторів: температура, галобність та pH середовища на основі розрахунку Евклідових відстаней. У результаті отримано 4 кластери (групи) видів з подібними еконішами, які характеризуються комплексом сукупної дії досліджених факторів за середніми показниками – мінімальне, максимальне та амплітуда значення фактору (рис. 7). Кластер 4 (група «гемієвритопи») формують 46 видів, для яких амплітуда толерантності за сукупної дії факторів знаходиться в межах 50–75% їхніх максимальних значень; кластер 3 (група «євритопи») представлений 14 видами, амплітуда толерантності яких за сумісної дії факторів перевищує 75%. Ця група порівняно легко адаптуватиметься до зміни умов існування, а їхня індикаторна інформативність внаслідок цього буде невисокою. Кластер 2 (група «гемістенотопи») найчисленніший. Він об'єднує 66 видів, амплітуда толерантності яких знаходиться в межах 25–50% максимальних показників факторів. Кластер 1 (група «стенотопи») включає види, для яких амплітуда толерантності за комплексом факторів не перевищує 25% їхніх максимальних значень. Саме ця невелика група, що представлена 7 видами (*Achnanthes inflata*, *Amphora commutata*, *Gyrosigma attenuatum*, *Iconella tenera*, *Pinnularia interrupta*, *P. major* var. *paludosa*, *Surirella striatula*), є найбільш перспективною для вирішення питань альгоіндикації, оскільки через незначну амплітуду толерантності вони першими реагуватимуть на комплексну зміну температури, кислотності та галобності середовища. Зважаючи на те, що дані види є широко розповсюдженими та стенотопними до показників температурного режиму, галобності та кислотності середовища, їхня наявність чи відсутність у альгологічних пробах може бути рекогносцерувальним індикатором стану досліджуваного біотопу.

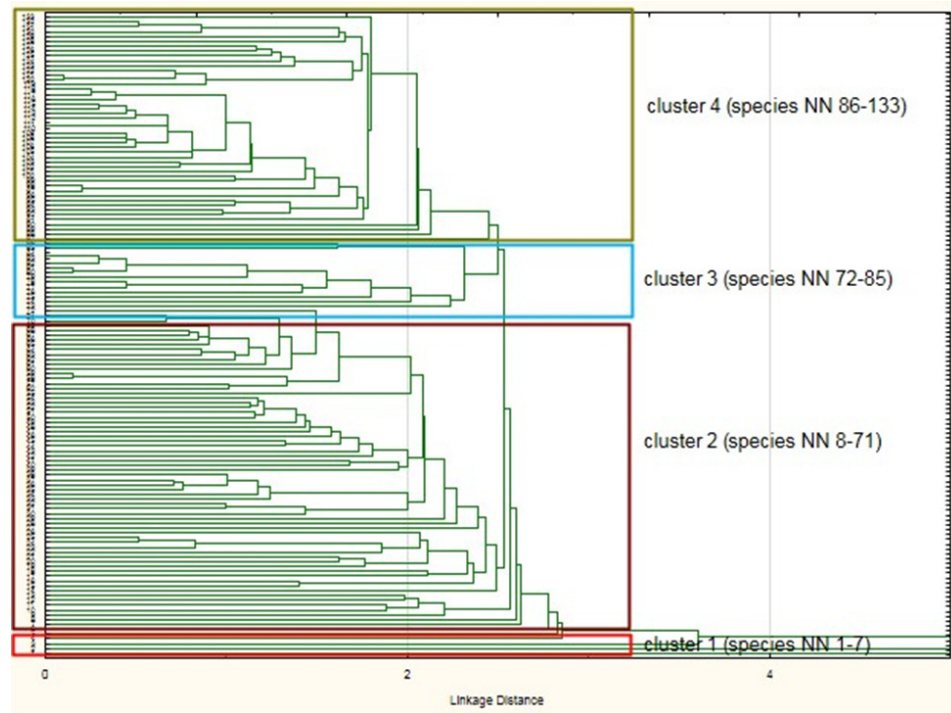


Рис. 7. Дендрограма спорідненості видів-індикаторів *Bacillariophyta* за комплексом факторів: температура, галобність та pH середовища

**Cluster 1:** 1 – *Surirella striatula*, 2 – *Achnanthes inflata*, 3 – *Pinnularia major* var. *paludosa*, 4 – *Iconella tenera*, 5 – *Amphora commutata*, 6 – *Gyrosigma attenuatum*, 7 – *Pinnularia intermedia*.

**Cluster 2:** 8 – *Eunotia diodon*, 9 – *Navicula radiosa*, 10 – *Nitzschia intermedia*, 11 – *Pinnularia microstauron*, 12 – *Cymbella helvetica*, 13 – *Odontidium hyemale*, 14 – *Pinnularia globiceps*, 15 – *Iconella bifrons*, 16 – *Pinnularia major* var. *linearis*, 17 – *Tryblionella victoriae*, 18 – *Fragilariforma constricta*, 19 – *Hantzschia vivax*, 20 – *Pinnularia abaujensis* var. *linearis*, 21 – *Pinnularia appendiculata*, 22 – *Nitzschia clauzii*, 23 – *Hantzschia amphioxys* var. *pusilla* f. *constricta*, 24 – *Tryblionella angustata* var. *acuta*, 25 – *Brachysira microcephala*, 26 – *Aulacoseira granulata* var. *curvata*, 27 – *Hantzschia amphioxys* var. *amphioxys*, 28 – *Aulacoseira italica*, 29 – *Neidium productum*, 30 – *Nitzschia vermicularis*, 31 – *Epithemia gibba*, 32 – *Caloneis amphisbaena*, 33 – *Epithemia goeppertiana*, 34 – *Caloneis bacillum*, 35 – *Nitzschia frustulum*, 36 – *Pinnularia viridis*, 37 – *Pinnularia major*, 38 – *Eunotia exigua*, 39 – *Luticola nivalis*, 40 – *Iconella capronii*, 41 – *Cymbella tumidula*, 42 – *Diploneis elliptica*, 43 – *Fragilariforma virescens* var. *capitata*, 44 – *Tryblionella acuminata*, 45 – *Planothidium ellipticum*, 46 – *Eunotia monodon*, 47 – *Iconella splendida*, 48 – *Nitzschia tenuis*, 49 – *Campylodiscus noricus*, 50 – *Epithemia turgida* var. *granulata*, 51 – *Tryblionella acuta*, 52 – *Nitzschia hantzschiana*, 53 – *Fragilariforma virescens* var. *subsalina*, 54 – *Diatoma vulgaris* var. *brevis*, 55 – *Eunotia parallela*, 56 – *Surirella robusta*, 57 – *Nitzschia gracilis*, 58 – *Nitzschia vitrea*, 59 – *Cymbella parva*, 60 – *Pinnularia*

*subcapitata*, 61 – *Nitzschia dubia*, 62 – *Iconella biseriata*, 63 – *Navicula oblonga*, 64 – *Diploneis ovalis*, 65 – *Caloneis ventricosa* var. *truncatula*, 66 – *Neidium iridis*, 67 – *Nitzschia umbonata*, 68 – *Luticola mutica*, 69 – *Achnantheidium microcephalum*, 70 – *Pinnularia nobilis*, 71 – *Cymbella laevis*.

**Cluster 3:** 72 – *Aulacoseira ambigua*, 73 – *Amphora ovalis*, 74 – *Bacillaria paxillifera*, 75 – *Fragilaria capucina* var. *capucina*, 76 – *Fragilariforma virescens*, 77 – *Navicula tripunctata*, 78 – *Diatoma vulgare*, 79 – *Cymbella cymbiformis*, 80 – *Navicula menisculus*, 81 – *Cocconeis pediculus*, 82 – *Navicula veneta*, 83 – *Cocconeis placentula*, 84 – *Asterionella formosa*, 85 – *Nitzschia acicularis*.

**Cluster 4:** 86 – *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, 87 – *Achnantheidium exilis*, 88 – *Eunotia praerupta*, 89 – *Cyclotella meneghiniana*, 90 – *Surirella ovalis*, 91 – *Cymbella lanceolata*, 92 – *Tryblionella navicularis*, 93 – *Cylindrotheca gracilis*, 94 – *Amphora pediculus*, 95 – *Aneumastus tuscus*, 96 – *Navicula rhynchocephala*, 97 – *Iconella linearis*, 98 – *Eunotia arcus*, 99 – *Epithemia adnata*, 100 – *Eunotia bilunaris*, 101 – *Pinnularia interrupta*, 102 – *Navicula cincta*, 103 – *Cymbella tumida*, 104 – *Tryblionella levidensis*, 105 – *Achnantheidium minutissimum*, 106 – *Hantzschia amphioxys* f. *capitata*, 107 – *Tryblionella hungarica*, 108 – *Nitzschia linearis*, 109 – *Caloneis silicula* var. *silicula*, 110 – *Epithemia turgida*, 111 – *Navicula lanceolata*, 112 – *Epithemia argus*, 113 – *Gyrosigma acuminatum*, 114 – *Surirella angusta*, 115 – *Planothidium lanceolata* var. *lanceolata*, 116 – *Craticula cuspidata*, 117 – *Epithemia sores*, 118 – *Fragilaria crotonensis*, 119 – *Tryblionella angustata*, 120 – *Nitzschia tryblionella*, 121 – *Nitzschia amphibia*, 122 – *Cocconeis lineata*, 123 – *Navicula salinarum*, 124 – *Nitzschia dissipata*, 125 – *Tryblionella apiculata*, 126 – *Navicula viridula*, 127 – *Cymbella cistula*, 128 – *Luticola ventricosa*, 129 – *Diatoma vulgare* var. *linearis*, 130 – *Navicula capitatoradiata*, 131 – *Diatoma moniliforme*, 132 – *Odontidium anceps*, 133 – *Pantocsekiella kuetzingiana*.

Таким чином, серед досліджених видів-індикаторів *Bacillariophyta* пониззя р. Ворскли за сукупною дією провідних екофакторів (температура, галобність та рН середовища) виділено найбільш чутливу групу «стенотопів», яка є перспективною для альгоіндикаційного аналізу водних екосистем, а запропонований підхід може бути застосований при аналізі інших таксономічних груп видів-альгоіндикаторів.

### Заключення

Проаналізовано видове різноманіття діатомових водоростей пониззя р. Ворскли. Представлено 279 видів (288 ввт) діатомей, серед яких найбільшим видовим різноманіттям характеризуються роди *Nitzschia* (29), *Navicula* (25), *Gomphonema* (20), *Pinnularia* (19), *Cymbella* C.A. Agardh (14) та *Epithemia* (10 видів). За основними екологічними факторами (температура, галобність, рівень рН середовища) виділено та охарактеризовано 133 види-індикатори. На основі узагальнюючих даних

щодо показників екологічних факторів нами відмічено переважання групи евритермних (eterm), індіферентних (ind) та алкаліфільних (alf) видів-індикаторів. На основі шкал Елленберга методами фітоіндикації охарактеризовано екологічну нішу та з'ясовано, що сапробність, потреба в кисні та рівень поглинання азоту є визначальними факторами в її формуванні. За градієнтами значень температури, галобності та кислотності середовища існування види розділено на 4 класи (стенотопні, гемістенотопні, геміевритопні та евритопні).

Встановлено, що екологічна ніша досліджених таксонів характеризується зміщенням у бік нейтрального середовища ( $6,5 \leq \text{pH} \leq 7,5$ ) прісноводних водойм з незначним рівнем мінералізації (0–2‰). За сукупною дією провідних екофакторів виділено найбільш чутливу групу «стенотопів», які через незначну амплітуду толерантності першими реагують на комплексну зміну факторів середовища.

### Список літератури

- Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. 2009. Vol. 2. *Bacillariophyta*. Eds P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.-G. 413 p.
- Algae: Reference Book*. 1989. Ed. S.P. Wasser. Kyiv: Naukova Dumka. 608 p. [Водорослі: Справочник. 1989. Под ред. С.П. Вассера. Киев: Наук. думка. 608 с.].
- Barinova S.S. 2013. Ecological modeling for communities of diatoms. In: *Materials of XIII International Algology Conference «Diatoms: current status and prospects of research»*. Kostroma. Pp. 24–25.
- Barinova S.S., Bilous O.P., Tsarenko P.M. 2019. *Algal indication of water bodies in Ukraine: methods and perspectives*. Haifa, Kyiv: Univ. Haifa Publ. 367 p. [Барінова С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. 2019. *Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы*. Хайфа, Киев: Изд-во Ун-та Хайфы. 367 с.].
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anissimova O.V. 2006. *Diversity of algal indicators in environmental assessment*. Tel Aviv: Pil. Stud. 498 p. [Барінова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель Авив: Pil. Stud. 498 с.].
- Budzhak V.V., Didukh Ya.P., Chorney I.I., Tokariuk A.I. 2019. Methodological aspects of prediction of distribution of alien species on the basis of phytoindication. *Chornomor. Bot. J.* 15(2): 113–123. [Буджак В.В., Дідух Я.П., Чорней І.І., Токарюк А.І. 2019. Методичні аспекти прогнозування поширення чужорідних видів на основі фітоіндикації. *Чорномор. бот. журн.* 15(2): 113–123].
- Bukhtiyarova L.N. 1999. *Bacillariophyta* in biomonitoring of river ecosystems. Current state and prospects for use. *Algologia*. 9(3): 89–103. [Бухтиярова Л.Н. 1999. *Bacillariophyta* в



- биомониторинге речных экосистем. Современное состояние и перспективы использования. *Альгология*. 9(3): 89–103].
- Climatogenic changes of plant life of the Ukrainian Carpathians*. 2016. Ed. Ya.P. Didukh, I.I. Chorney. Chernivtsi: DrukArt. 280 p. [*Кліматогенні зміни рослинного світу Українських Карпат*. Ред. Я.П. Дідух, І.І. Чорней. Чернівці: ДрукАрт. 280 с.].
- Didukh Ya.P. 1990. Methodological approaches to the problems of phytoindication of ecological factors. *Ukr. Bot. J.* 47(6): 5–12. [Дідух Я.П. 1990. Методологічні підходи до проблем фітоіндикації екологічних факторів. *Укр. бот. журн.* 47(6): 5–12].
- Didukh Ya.P. 2012. *Fundamentals of bioindication*. Kyiv: Naukova Dumka. 343 p. [Дідух Я.П. 2012. *Основи біоіндикації*. Київ: Наук. думка. 343 с.].
- Didukh Ya.P. 2012a. Modern ideas about the economy and approaches to its evaluation. *Sci. Notes Nat. Univ. Kyiv-Mohyla Acad.* 132: 41–48. [Дідух Я.П. 2012а. Сучасні уявлення про еконішу і підходи до її оцінки. *Наук. зап. Нац. ун-ту Києво-Могилян. акад.* 132: 41–48].
- Didukh Ya.P., Plyuta P.H. 1994. *Phytoindication of ecological factors*. Kyiv: Naukova Dumka. 280 p. [Дідух Я.П., Плюта П.Г. 1994. *Фітоіндикація екологічних факторів*. Київ: Наук. думка. 280 с.].
- Ecoflora of Ukraine*. 2000. Vol. 1. Ed. Ya.P. Didukh. Kyiv: Phytosociocentre. 284 p. [*Екофлора України*. 2000. Т. 1. Ред. Я.П. Дідух. Київ: Фітосоціоцентр. 284 с.].
- Gorbulin O. 2016. Species diversity and autecology of *Bacillariophyta* of continental water bodies of Ukraine. *Phytodiver. East. Europe*. 10(2): 33–95. [Горбулин О.С. 2016. Видовой состав и аутэкология *Bacillariophyta* континентальных водоемов Украины. *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 10(2): 33–95].
- Hustedt F. 1957. Die Diatomeenflora des Flußsystems der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abh. Nat. Ver. Brem.* 34(3): 181–440.
- Kornell P. 2007. *Data analysis in Excel. Just like two and two*. Moscow: Eksmo. 224 p. [Корнелл П. 2007. *Анализ данных в Excel. Просто как дважды два*. М.: Эксмо. 224 с.].
- Kryvosheia-Zakharova O.M. 2020. *Diatoms of the Poltava-Plain algofloristic district (Ukraine)*: PhD (Biol.). Abstract. Kyiv. 10 p. [Кривошея-Захарова О.М. 2020. *Діатомові водорості Полтавськорівнинного альгофлористичного району (Україна)*: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ. 10 с.].
- Lakin G.F. 1990. *Biometrics*. Moscow: Vysshaya shkola. 352 p. [Лакин Г.Ф. 1990. *Биометрия*. М.: Высш. школа. 352 с.].
- Lapach S.N., Chubenko A.V., Babich P.N. 2001. *Statistical methods in biomedical research using Excel*. Kyiv: MORION. 408 p. [Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. 2001. *Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel*. Киев: МОРИОН. 408 с.].
- Makarova N.V. 2012. *Statistical analysis of biomedical data using statistical software packages Statistica, SPSS, NCSS, SYSTAT*. St. Petersburg: Politekh-Service. 178 p. [Макарова Н.В. 2012. *Статистический анализ медико-биологических данных с использованием*

- пакетов статистических программ Statistica, SPSS, NCSS, SYSTAT. Санкт-Петербург: Политех-Сервис 178 с.].
- Rayda E.V. 2005. Algae of swamps of the landscape reserve "Vishnyaki" (Poltava region). *Bull. Karazin Kharkiv Nat. Univ. Biology*. 709(1–2): 67–71. [Райда Е.В. 2005. Водоросли болот ландшафтного заказника «Вишняки» (Полтавская область). *Вісн. Харк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Біологія*. 709(1–2): 67–71].
- Rayda E.V. 2012. In: *Advances in modern phycology*: Mat. IV Int. Conf. (Kyiv, 23–25 May, 2012). Kyiv. Pp. 248–249. [Райда Е.В. 2012. Общая характеристика водорослей водоемов регионального ландшафтного парка «Нижневорсклянский». В кн.: *Актуальные проблемы современной альгологии*: Мат. IV Междунар. конф. (Киев, 23–25 мая 2012 г.). Киев. С. 248–249].
- Rayda E.V. 2013. *Algae of reservoirs of the regional landscape park «Nizhnevorsklyansky»* (Ukraine). PhD (Biol.) Thesis. Kyiv. 504 p. [Райда О.В. 2013. *Водорості водойм регіонального ландшафтного парку «Нижневорсклянський»* (Україна): Дис. ... канд. біол. наук. Київ. 504 с.].
- Rokach L., Maimon O. 2005. In: *Data mining and knowledge discovery handbook*. Springer. Pp. 321–352.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. 1994. A coded check list and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 28(1): 117–133.
- Zaytsev H.N. 1990. *Mathematics in experimental botany*. Moscow: Nauka. 296 p. [Зайцев Г.Н. 1990. *Математика в экспериментальной ботанике*. М.: Наука. 296 с.].

Підписав до друку П.М. Царенко

Raida O.V. 2022. **Autecological features and characteristics of diatoms (*Bacillariophyta* Karsten) in the lower reaches of the Vorskla River.** *Algologia*. 32(2): 133–151

M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine,  
2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

The species diversity of diatoms in the lower reaches of the Vorskla River, which belong to the territory of the Regional Landscape Park "Nizhnevorsklyansky", is analyzed. The material for the work comes from algological samples collected in the lower reaches of the Vorskla River in the spring and autumn periods. A section of about 7 km of the lower reaches of the Vorskla River, a section of the Vorskla Bay and the Kamyanka Reservoir, floodland water bodies, swamps and wetlands were surveyed. Collection of algae samples was carried out from different ecology groups. Samples were processed in live and fixed state using the method of direct microscopy.

A total of 288 taxa were identified. An analysis of the autecology of 133 representatives of diatoms in relation to the main environmental factors (temperature, acidity, salinity) has been carried out. The obtained digital data were processed by generally accepted methods of statistical research. Based on Ellenberg scales, phytoindication methods are used to characterize the ecological niche and to clarify the nature of the interaction between the main ecofactors of the noted representatives of *Bacillariophyta*. Based on the analysis of the values of the range of variation of ecofactors, the range of the optimum zone for the studied species was established, and according to the tolerance amplitude (BP) they were divided into 4 classes (stenotopic, hemistenotopic, hemieurytopic and eurytopic). It is established that the ecological niche of the studied taxa is characterized by a shift towards a neutral environment in terms of acidity ( $6.5 \leq \text{pH} \leq 7.5$ ) and salinity 0–2‰. Groups of stenotopic species to the temperature, salinity and acidity of the environment, which can be sensitive indicators of changes in these environmental factors, have been identified. According to the results of hierarchical clustering, the affinity of the studied indicator species was established. Clusters that unite a complex of species characterized by similar values of ecological amplitude to the leading environmental factors were formed.

**Key words:** *Bacillariophyta*, indicator species, ecological Ellenberg scales